

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΦΕΡΟΝΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΕ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΜΕ ΠΛΕΓΜΑ ΙΝΩΝ

ΓΙΑΝΝΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια νέα μέθοδος ενίσχυσης φέροντων στοιχείων, κατά την οποία ενισχύονται τα προς ενίσχυση μέλη με σκυρόδεμα, το οποίο οπλίζεται με ένα ύφασμα ινών αντί για χάλυβα. Αρχικά περιγράφονται η διαδικασία με την οποία γίνεται η ενίσχυση του μέλους και κάποια χαρακτηριστικά της μεθόδου και στη συνέχεια περιγράφεται η φέρουσα συμπεριφορά του υλικού σε μονοαξονικό εφελκυσμό μόνο του και μαζί με σκυρόδεμα, σαν μέσο ενίσχυσης σε ήδη υπάρχον στοιχείο. Επίσης γίνεται μια παρουσίαση για τον τρόπο που προσεγγίζεται η εξιδανίκευση της συμπεριφοράς του με κάποιο αριθμητικό μοντέλο. Τέλος αναφέρεται και η ιδέα της προέντασης του υφάσματος και κάποιο πείραμα στο οποίο φαίνονται τα αποτελέσματα που είχε αυτή σε κάποια δοκίμια.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χρήση σκυροδέματος οπλισμένου με ύφασμα ινών αποτελεί μία καινούρια τεχνολογία ενίσχυσης, με την οποία αυξάνεται η φέρουσα ικανότητα και το επίπεδο ασφάλειας μιας υφιστάμενης κατασκευής. Σύμφωνα με αυτή επιστρώνονται στην επιφάνεια του υπάρχοντος μέλους, η οποία θα πρέπει πρώτα εκτραχυνθεί, εναλλάξ λεπτές στρώσεις σκυροδέματος και υφάσματος ινών. Έτσι προκύπτει μία νέα διατομή για το μέλος που ενισχύεται, η οποία έχει περίπου τη μορφή του σχήματος 1α. Οι ίνες οι οποίες αποτελούν τον οπλισμό, ενώνονται σε μεγαλύτερες και μικρότερες δέσμες και οι οποίες με τη σειρά τους τοποθετούνται μεταξύ τους σε διάφορες γωνίες (κυρίως 0° , 90° και $\pm 45^\circ$), ώστε να σχηματίσουν ένα ύφασμα (Σχήμα 1β). Τα υλικά προέλευσης αυτών των ινών είναι όπως συνήθως το γυαλί, ο άνθρακας και το πολυαιθυλένιο.

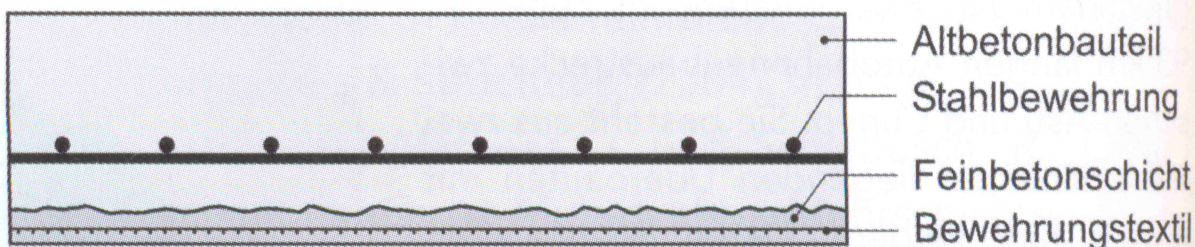
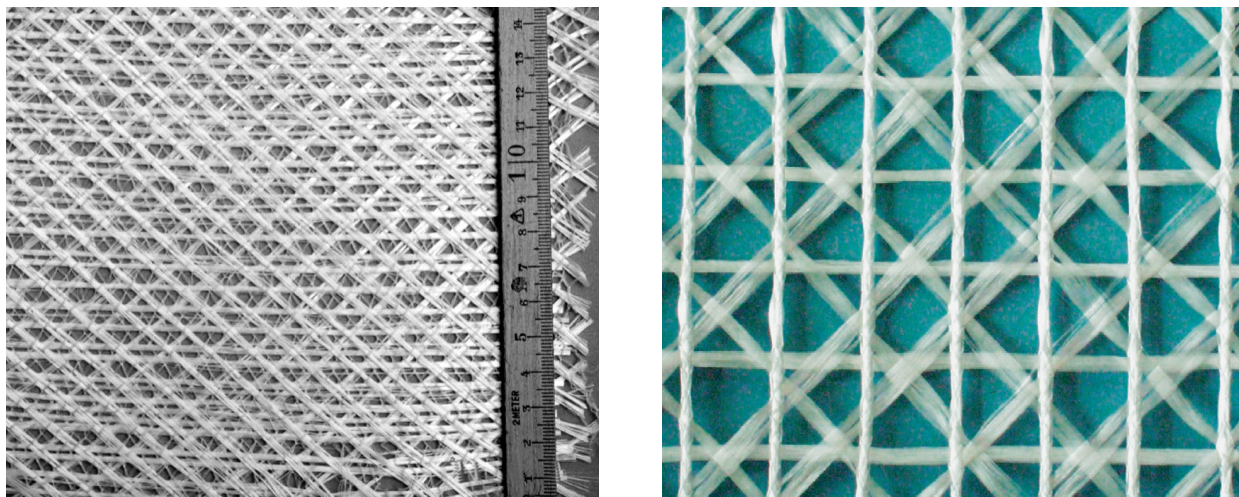


Bild 2 Verbundwerkstoff aus stahlbewehrtem Beton und textilbewehrtem Feinbeton

Fig. 2 Composite material composed of steel reinforced concrete and textile reinforced fine grained concrete

(Σχήμα 1α)



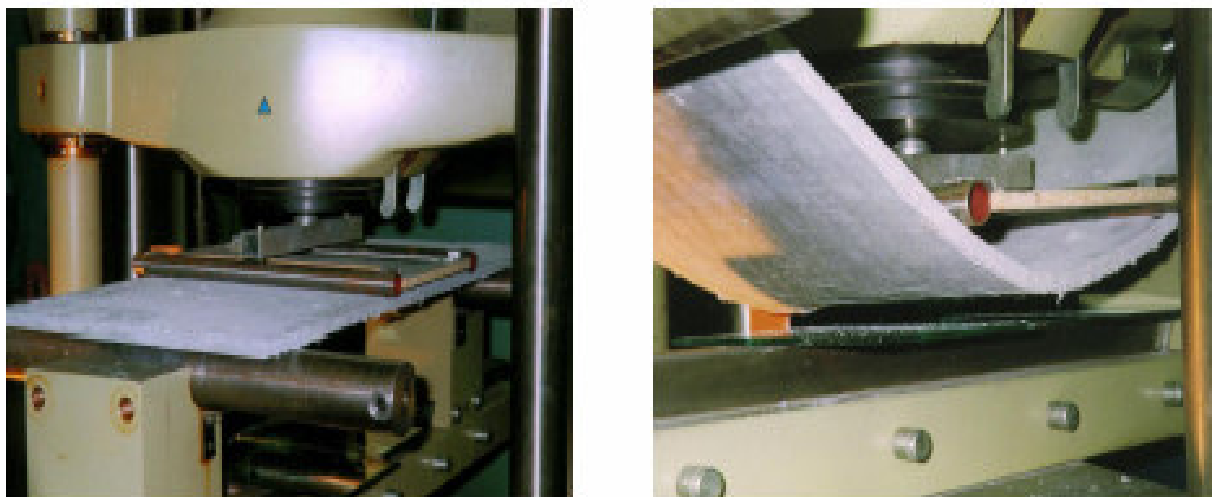
(Σχήμα 1β- Υφάσματα ινών)

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Το οπλισμένο με ύφασμα ινών σκυρόδεμα χαρακτηρίζεται από τις παρακάτω ιδιότητες:

- Αυτός ο τύπος σκυροδέματος παρουσιάζει όπως θα δούμε μια μη γραμμική συμπεριφορά μετά τη ρηγμάτωση του σκυροδέματος, η οποία όμως επιτρέπει τη δημιουργία μεγάλων παραμορφώσεων (Σχήμα 2)
- Οι ίνες που παράγονται εργοστασιακά προέρχονται αποκλειστικά από ένα μόνο υλικό (γυαλί, άνθρακα, πολυαιθυλένιο). Για την παραγωγή όμως ενός υφάσματος μπορεί να γίνει συνδυασμός ινών, οι οποίες προέρχονται από περισσότερα από ένα υλικό, εκμεταλλευόμενοι έτσι περισσότερο τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει το κάθε ένα υλικό ξεχωριστά
- Παράλληλα μπορούμε να δημιουργήσουμε το είδος του υφάσματος που εμείς επιθυμούμε κάθε φορά, επιλέγοντας υφάσματα με διαφορετικό αριθμό ινών και με παραλλαγές στη διεύθυνσή τους, ανάλογα με το είδος της έντασης που θέλουμε να αναληφθεί από τον οπλισμό μας.
- Τέτοιου είδους υλικά δεν επηρεάζονται από τη διάβρωση όπως ο χάλυβας και συνεπώς δεν απαιτείται κάποια ελάχιστη επικάλυψη με σκυρόδεμα για προστασία του οπλισμού. Αυτή η ιδιότητά τους μας επιτρέπει την επιλογή μικρότερων διαστάσεων και τη μείωση του βάρους της διατομής ενίσχυσης.
- Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί αποκλειστικά σε συγκεκριμένες περιοχές όπου δεν επαρκεί ο υπάρχον οπλισμός, χωρίς να επεκταθεί στις παράπλευρες περιοχές, κάτι που οδηγεί σε εξοικονόμηση των ινών που χρησιμοποιούνται, ακόμη και σε ποσοστό 80% σε σχέση με το ινοπλισμένο σκυρόδεμα.
- Μπορούμε σε περιοχές μεγαλύτερες καταπόνησης να πυκνώσουμε τον αριθμό και τις στρώσεις των ινών ώστε να έχουμε τοπικά μεγαλύτερη αντοχή.
- Το σκυρόδεμα με αυτό τον οπλισμό παρουσιάζει μία πολύ ευνοϊκή διασπορά ρωγμών (πολλές μικρές εγκάρσιες ρωγμές και καθόλου μεγάλες ρωγμές), σημαντικό πλεονέκτημα όσον αφορά τη λειτουργικότητα, το αίσθημα της ασφάλειας, αλλά και τη στεγανότητα που προσφέρει.

(Rainer Hempel)

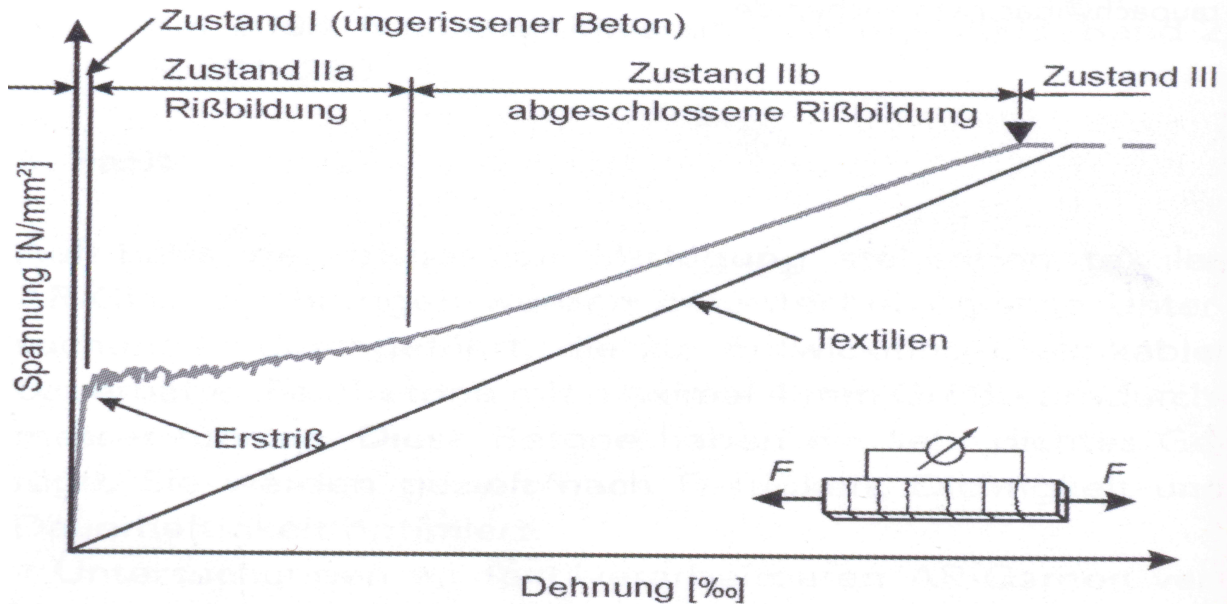


(Σχήμα 2- Μεγάλη παραμόρφωση χωρίς να έχει επέλθει ακόμη θραύση)

ΦΕΡΟΥΣΑ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΣΕ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΟ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ

Στο σχήμα 3 φαίνονται δύο καμπύλες τάσης – παραμόρφωσης δύο υλικών σε μονοαξονικό εφελκυσμό. Η πρώτη αντιστοιχεί στη συμπεριφορά του γυμνού υφάσματος, ενώ η δεύτερη αντιστοιχεί στο οπλισμένο με πλέγμα ινών σκυρόδεμα σε μονοαξονικό εφελκυσμό. Όπως εύκολα παρατηρεί κανείς το γυμνό ύφασμα έχει μια αρκετά υψηλή εφελκυστική αντοχή, στην οποία φτάνει με μια πλήρως γραμμική-ελαστική συμπεριφορά, ενώ μετά την εξάντληση της αντοχής του έχουμε άμεση θραύση χωρίς πλαστική συμπεριφορά. Αντίθετα η καμπύλη του σκυροδέματος είναι αρκετά πιο πολύπλοκη και μπορεί να χωριστεί σε τρία επί μέρους τμήματα. Από αυτά τα δύο πρώτα τμήματα μπορούμε να πούμε ότι αντιστοιχούν ουσιαστικά στην αντίστοιχη καμπύλη του οπλισμένου με χάλυβα σκυροδέματος. Έτσι στο πρώτο μέρος της καμπύλης, το οποίο αντιστοιχεί στην ελαστική περιοχή του σκυροδέματος πριν να ξεπεραστεί η εφελκυστική ανοχή του και ρηγματωθεί, η καμπύλη ακολουθεί γραμμική συμπεριφορά, μέχρι την εμφάνιση των πρώτων ρωγμών και τη μετάβαση στην δεύτερη περιοχή της καμπύλης. Από εκεί και πέρα, όπως και στο οπλισμένο σκυρόδεμα, η ένταση παραλαμβάνεται αποκλειστικά από τον οπλισμό και με την αύξηση της φόρτισης παρατηρούνται επιπλέον ρωγμές και γι' αυτό υπάρχουν κάποιες ανωμαλίες στην καμπύλη, η οποία έχει τώρα μια λιγότερο ανοδική πορεία (Περιοχή 2α). Στη συνέχεια και με επιπλέον αύξηση της φόρτισης δεν παρατηρείται περαιτέρω ρηγμάτωση του σκυροδέματος και αφού όπως είπαμε η ένταση παραλαμβάνεται πλέον αποκλειστικά από το ύφασμα των ινών, η καμπύλη φυσιολογικά ακολουθεί μια πιο ομαλή και ουσιαστικά γραμμική πορεία, παράλληλη σε αυτή του γυμνού πλέγματος (Περιοχή 2β). Τέλος η τρίτη περιοχή αναφέρεται στην πλαστικότητα του υλικού της όπλισης, η οποία είναι ουσιαστικά μηδενική αφού τα χρησιμοποιούμενα υλικά των ινών του πλέγματος δεν έχουν πλαστική περιοχή.

Όσα αναφέρθηκαν σε αυτή την παράγραφο αποτελούν μέρος δημοσίευσης των Josef Hegger, Norbert Will, Manfred Curbach και Frank Jesse.



(Σχήμα 3 – Καμπύλη τάσης – παραμόρφωσης)

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΜΨΗΣ ΣΕ ΠΛΑΚΑ

Στη συνέχεια παρατίθεται ένα πείραμα των Bernd Möller, Anett Brückner, Regine Ortlepp και Frank Steinigen, στο οποίο φαίνεται η αύξηση της αναλαμβανόμενης ροπής πλακών, ενισχυμένων με τη μέθοδο που περιγράφεται.

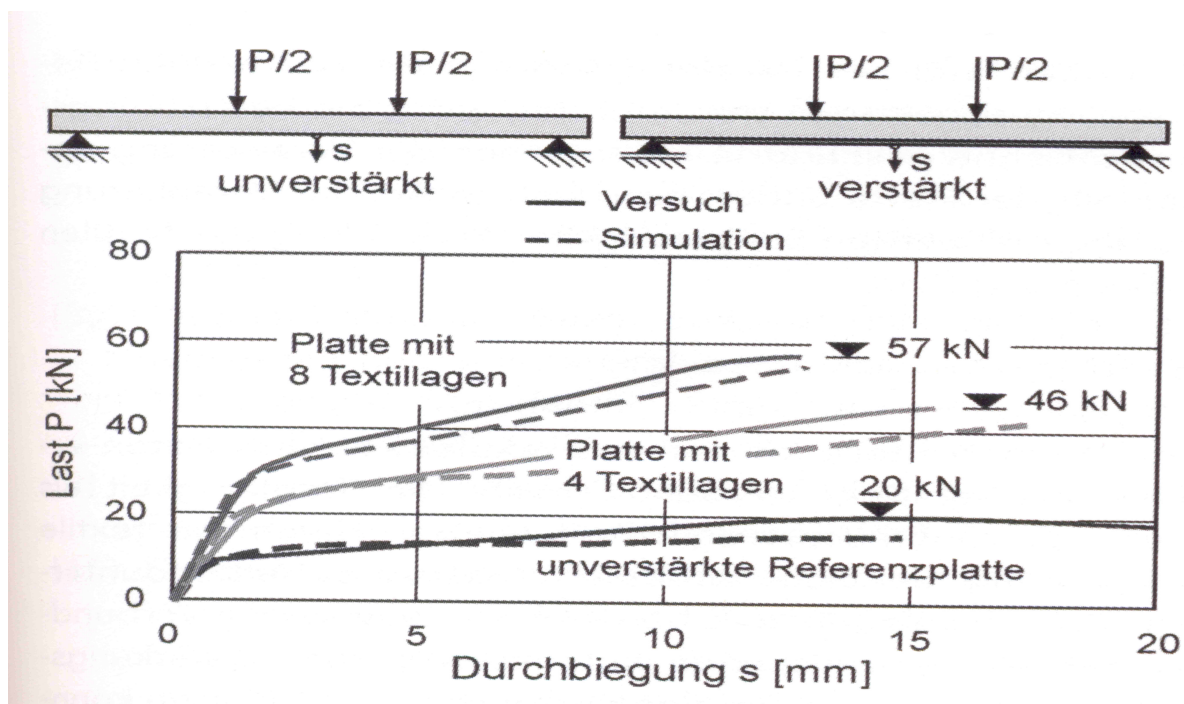
Για το πείραμα χρησιμοποιούνται τρεις πλάκες πλάτους 60 cm και ανοίγματος μεταξύ των στηρίξεων 160 cm. Από αυτές οι δύο μόνο ενισχύονται, ενώ η τρίτη θα αποτελέσει τη στάθμη αναφοράς της αντοχής. Η ενίσχυση γίνεται στην κάτω επιφάνεια της πλάκας και αποτελείται από λεπτές στρώσεις σκυροδέματος (4 και 8 για κάθε μία από τις 2 πλάκες που ενισχύονται) περίπου 2 mm η κάθε μία, οπλισμένες με πλέγμα ινών γυαλιού. Το επιπλέον βάρος που μεταβιβάζεται για κάθε στρώση υφάσματος είναι 210 gr/m², ενώ στη διεύθυνση της διατομής το ποσοστό του οπλισμού της ενίσχυσης αντιστοιχεί περίπου στο 25% του διαμήκους οπλισμού.

Τα κριτήρια για τη διαστασιολόγηση του οπλισμού της ενίσχυσης είναι:

- Η απαιτούμενη τελική αντοχή.
- Ο ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός.
- Το ελάχιστο απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης του στρώματος ενίσχυσης.

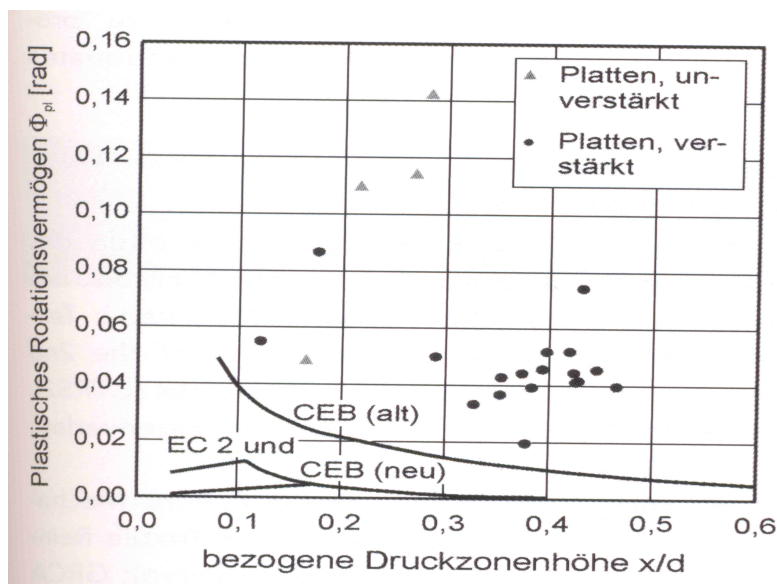
Στο διάγραμμα φορτίου – παραμόρφωσης του σχήματος 4 φαίνεται ότι όλες οι πλάκες ακολουθούν ποιοτικά την τυπική συμπεριφορά του οπλισμένου σκυροδέματος, ξεκινώντας με μια γραμμική συμπεριφορά, ακολουθούμενη από περιοχή απότομης αύξησης των παραμορφώσεων για δεδομένη αύξηση του φορτίου. Όπως επίσης αναμενόταν η αύξηση της δυσκαμψίας (λόγω του γεγονότος ότι με τη στρώση ενίσχυσης αυξάνεται η ικανότητα για ανάληψη της ροπής στην αρηγμάτωτη περιοχή) συμβάλλει και στην αύξηση της αντοχής των πλακών. Να επισημάνουμε ότι η συνεχής καμπύλες αντιστοιχούν στην ανάγνωση των πειραματικών αποτελεσμάτων, ενώ οι διακεκομμένες καμπύλες είναι τα αποτελέσματα της επίλυσης του πειραματικού προβλήματος με αριθμητικό μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων. Βλέπουμε έτσι ότι σε αυτό το πείραμα η αριθμητική εξιδανίκευση του προβλήματος, μας δίνει μια πολύ καλή προσέγγιση των πειραματικών αποτελεσμάτων.

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΦΕΡΟΝΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΕ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΜΕ ΠΛΕΓΜΑ ΙΝΩΝ



(Σχήμα 4)

Μια άλλη παράμετρος που θα πρέπει να προσεχθεί είναι το εύρος των μετατοπίσεων, από τη στιγμή που το μέλος έχει εισέλθει στην πλαστική περιοχή. Δυστυχώς λόγω του γεγονότος ότι η μέθοδος αυτή είναι αρκετά πρόσφατη, δεν υπάρχει ακόμη η απαραίτητη εμπειρία για τον ορισμό συντελεστών ασφαλείας. Στο σχήμα 5 γίνεται σύγκριση των μετρούμενων γωνιών στρώσης των πλακών του πειράματος με τις αντίστοιχες που συστήνουν ο EC2 και ο CEB (παλιός και νέος). Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι ενισχυμένες πλάκες βρίσκονται πάνω από τις καμπύλες των κανονισμών αλλά βρίσκονται αρκετά πιο κάτω τις τιμές της πλάκας που δεν ενισχύθηκε. Έτσι επιλέγοντας μια πιο “επιεική” στάθμη επιτελεστικότητας μπορούμε να είμαστε μέσα σε κάποια ανεκτά όρια.

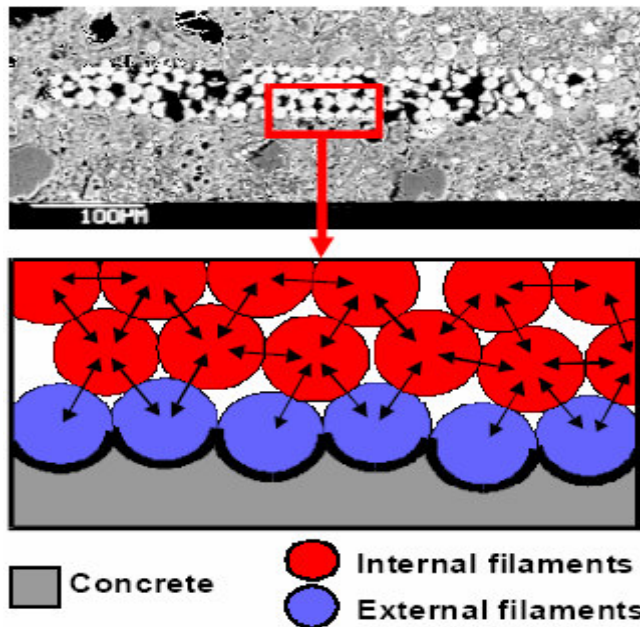


(Σχήμα 5)

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΙΑ ΤΗ ΦΕΡΟΥΣΑ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

Ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για το μηχανικό είναι να μπορεί με ένα αριθμητικό μοντέλο να περιγράψει τη συμπεριφορά των υλικών που χρησιμοποιεί. Στην περίπτωση του υλικού που περιγράφουμε έχουν γίνει αρκετές έρευνες και πειράματα για διάφορες περιπτώσεις με αριθμητικά προσομοιώματα.

Το βασικό πρόβλημα για όλες τις έρευνες που διεξάγονται είναι το γεγονός ότι το σκυρόδεμα το οποίο περιέχει ύφασμα ινών είναι ένα ιδιαίτερα ανομοιογενές υλικό. Στη συμπεριφορά του υλικού υπαισέρχονται συμπεριφορές και δυνάμεις αλληλεπίδρασης, οι οποίες μας κάνουν επιφυλακτικούς ως προς την ορθότητα των μοντέλων που παρουσιάζονται κατά καιρούς. Μια πολύ βασική παράμετρος είναι ότι η ένταση δεν μεταβιβάζεται ομοιόμορφα σε μια διατομή, όχι μόνο σε σχέση με το σκυρόδεμα και τις ίνες, αλλά ακόμα και ανάμεσα στις ίνες. Αυτό συμβαίνει διότι υπάρχουν διαφορετικές δυνάμεις συνάφειας μεταξύ των ινών που έρχονται σε επαφή με το σκυρόδεμα (εξωτερικές ίνες) και των ινών που έρχονται απλά σε επαφή με άλλες ίνες (εσωτερικές ίνες) (Σχήμα 6). Επιπροσθέτως δεν μπορούμε να έχουμε ούτε κάποια εκτίμηση για την τάξη μεγέθους του αριθμού των εσωτερικών και εξωτερικών ινών, καθώς είναι πολύ πιθανό να εισέλθει σκυρόδεμα μέσα σε μια δέσμη ινών αλλάζοντας έτσι την ιδιότητα κάθε ίνας.



(Σχήμα 6 – Διάκριση εσωτερικών και εξωτερικών ινών)

Αυτά όσον αφορά μόνο την περιοχή του νέου σκυροδέματος. Για την περιγραφή όμως της συνολικής διατομής πρέπει να λάβουμε υπόψιν μας και το υπάρχον σκυρόδεμα με τον σπλισμό του, όπως επίσης και τυχόν μη γραμμικότητα μέλους λόγω ρηγμάτωσης, συνάφεια μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος. Για αυτό το λόγο τα πεπερασμένα στοιχεία που χρησιμοποιούνται συνήθως για την εξιδανίκευση του υλικού είναι επίπεδα και αναφέρονται σε κάθε στρώση με διαφορετικές ιδιότητες (Multi-Referenzebenen-Modell – MRM – Μοντέλο πολλαπλών επιπέδων αναφοράς). Έτσι ανάλογα με το ποια περιοχή περιγράφει το κάθε στοιχείο του δίνουμε και τις ανάλογες ιδιότητες, ενώ το επίπεδο σύνδεσης του παλαιού και νέου σκυροδέματος εξιδανικεύεται με μία διαχωριστική επιφάνεια. Αυτή η διαχωριστική επιφάνεια θεωρείται άυλη και με μηδενικό πάχος και η κατάσταση της συνάφειας μεταξύ παλαιού και νέου υλικού περιγράφεται από μία σχετική μετατόπιση που δίνουμε σε αυτό το στοιχείο. Τέλος ένα

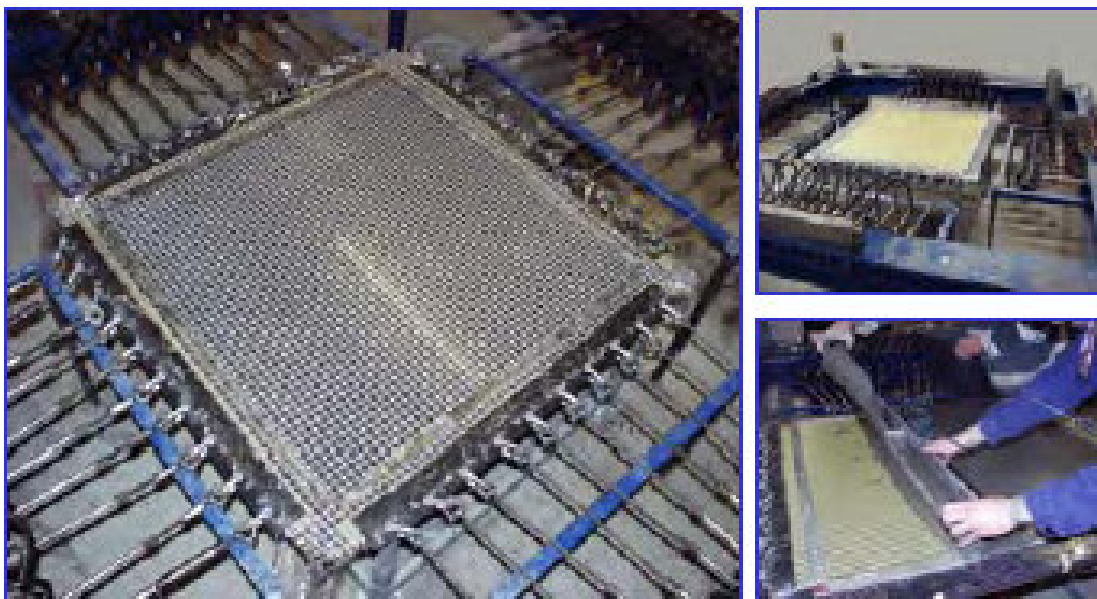
ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΦΕΡΟΝΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΕ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΜΕ ΠΛΕΓΜΑ ΙΝΩΝ

άλλο πλεονέκτημα αυτού του τύπου εξιδανίκευσης είναι ότι έχουμε τη δυνατότητα να περιγράψουμε και κάποια ιδιάζουσα συμπεριφορά του προς ενίσχυση μέλους, η οποία έχει επέλθει λόγω της χρόνιας φόρτισής του. Αυτά αναφέρουν οι Rostislav Chudoba, Wolfgang Graf, Konstantin Meskouris και Bernd Zastrau σε μια δημοσίευσή τους.

ΠΡΟΕΝΤΑΣΗ ΤΟΥ ΥΦΑΣΜΑΤΟΣ ΙΝΩΝ

Όπως είδαμε παραπάνω οι ίνες που αποτελούν το πλέγμα της όπλισης έχουν πολύ μεγάλη εφελκυστική αντοχή αλλά πολύ μικρή έως μηδαμινή πλαστιμότητα. Αυτό το γεγονός μας κάνει ιδιαίτερα επιφυλακτικούς στους υπολογισμούς μας, καθώς θα πρέπει να μείνουμε μακριά από το όριο θραύσης των υλικών για να αποφύγουμε την ψαθυρή αστοχία. Για να εκμεταλλευτούμε λοιπόν ακόμη περισσότερο αυτή τη μεγάλη εφελκυστική αντοχή των υλικών που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή του υφάσματος, υπήρξε η ιδέα να χρησιμοποιηθούν για να προεντίνουν το σκυρόδεμα που πρόκειται να τα περιβάλλει, ώστε να αυξήσουμε την ελαστική περιοχή του σκυροδέματος. Παρακάτω περιγράφονται κάποια πειράματα που έχουν γίνει από τους καθηγητές του πανεπιστημίου της Στουτγάρδης, Hans W. Reinhardt, Markus Krüger και Christian U. Grosse.

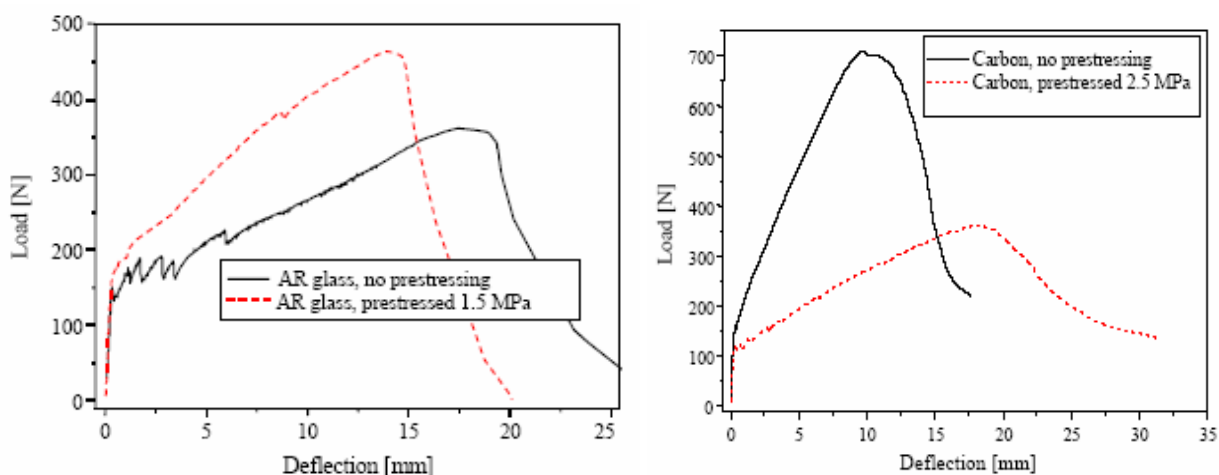
Αρχικά χρησιμοποιήθηκε η διάταξη πιστονίων του σχήματος 7 για την προένταση του υφάσματος με συνολική ένταση 40 KN/m.



(Σχήμα 7)

Μετά την προένταση γίνεται η σκυροδέτηση με σκυρόδεμα μεγάλης αντοχής (25 MPa την πρώτη ημέρα, 62 MPa στις 7 ημέρες και 75 MPa στις 28 ημέρες) για τις ανάγκες του πειράματος. Το ύφασμα απελευθερώθηκε από τα πιστόνια μετά από μια μέρα και τα δοκίμια που προέκυψαν είχαν διαστάσεις 300x250x100 mm. Μετά από πέντε ημέρες τα δοκίμια υποβλήθηκαν σε καμπτικές δοκιμές τεσσάρων σημείων, με τα συγκεντρωμένα φορτία να εφαρμόζονται στα τρίτα του μήκους των δοκιμίων με σταθερή εφαρμοζόμενη μετατόπιση 2mm/min.

Τα δύο ακόλουθα διαγράμματα (Σχήμα 8) δείχνουν τις μετατοπίσεις που παρατηρήθηκαν στο μέσο των δοκιμών συναρτήσει της δύναμης που εφαρμοζόταν τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Στο πρώτο διάγραμμα, το οποίο αντιστοιχεί σε ύφασμα από ίνες γυαλιού, βλέπουμε ότι η προένταση έχει μια αρκετά θετική επίδραση στην αντοχή του στοιχείου, αφού από 350 N το φορτίο θραύσης ανεβαίνει στα 450 N. Αντίθετα στο δεύτερο διάγραμμα, το οποίο αντιστοιχεί σε ύφασμα από ίνες άνθρακα, παρατηρούμε μια εντελώς αντίθετη συμπεριφορά, αφού το δοκίμιο χωρίς προένταση φτάνει σε τιμή φορτίου 700 N, ενώ το προεντεταμένο μόλις 350 N.



(Σχήμα 8)

Επίσης παρόμοια συμπεριφορά παρουσιάζει και η ρηγμάτωση των δοκιμών. Έτσι το δοκίμιο με τις ίνες γυαλιού χωρίς την προένταση παρουσιάζει έντονη ρηγμάτωση μέχρι την αστοχία, ενώ αντίθετα παρουσιάζει ελάχιστη ρηγμάτωση αν προενταθεί (ρωγμές με εύρος μικρότερο του 0,1 mm δεν γίνονται αντιληπτές με γυμνό μάτι). Αντίθετα το δοκίμιο με τις ίνες άνθρακα παρουσιάζει σχετικά μικρή ρηγμάτωση στην αστοχία του χωρίς να το έχουμε προεντίνει (μόλις 0,2 mm), ενώ παρουσιάζει σαφώς εντονότερη ρηγμάτωση με την προένταση (0,6 mm ρωγμής θεωρείται εκτός των αποδεκτών ορίων) (Σχήμα 9).

Reinforcement	Crack width mm	Deflection mm	
AR glass	Reinforced	0.2	8
		0.3	11
		0.4	12.5
		0.5	14
		0.7	17 (failure)
	Prestressed, 1.5 MPa	< 0.1	9 (failure)
		Carbon	Reinforced
0.2	10 (failure)		
Prestressed, 2.5 MPa	0.1		4
	0.2		7
	0.3		12
	0.4		16
0.6	17 (failure)		

(Σχήμα 9)

Η εξήγηση που δίνεται για αυτή την τελείως διαφορετική συμπεριφορά των δύο υλικών έχει να κάνει με τη σύσταση και τη δομή των δύο υλικών που χρησιμοποιήθηκαν, αλλά και με τη συνάφεια που αναπτύσσεται μεταξύ των εσωτερικών και των εξωτερικών ινών. Το βασικό πάντως που θα πρέπει να κρατήσουμε είναι ότι η προένταση στοιχείων σκυροδέματος οπλισμένα με ύφασμα ινών μπορεί να έχει ευεργετικά αποτελέσματα, χρησιμοποιώντας μόνο το κατάλληλο υλικό για τις ίνες του υφάσματος.

Βιβλιογραφία

1. Numerische Modellierung von textilbewehrtem Beton

Rostislav Chudoba, Wolfgang Graf, Konstantin Meskouris, Bernd Zastrau – Beton und Stahlbetonbau Ιούνιος 2004

2. Verstärken mit textilbewehrtem Beton

Bernd Möller, Anett Brückner, Regine Ortlepp, Frank Steinigen - Beton und Stahlbetonbau Ιούνιος 2004

3. Tragverhalten von textilbewertertem Beton

Josef Hegger, Norbert Will, Manfred Curbach, Frank Jesse - Beton und Stahlbetonbau Ιούνιος 2004

4. Textilbewerter Beton – ein neuer Verbundbaustoff

Rainer Hempel – Αρχείο pdf

5. Grundlegende Untersuchungen zum Tragverhalten von textilbewehrtem Beton

Manfred Curbach – Seminar DIN 1045-1

6. Concrete Prestressed with textile fabric

Hans W. Reinhardt, Markus Krüger, Christian U. Grosse - Journal of Advanced Concrete Technology Vol. 1, No. 3, 231-239 November 2003 / Copyright © 2003 Japan Concrete Institute